

کاربرد لجن کنورتور اسیدی شده(ضایعات کارخانه فولاد) به عنوان کود آهن در خاک‌های آهکی

علی عباس‌پور، محمود کلباسی و حسین شریعتمداری^۱

چکیده

امکان استفاده از لجن کنورتور، یک محصول فرعی صنایع فولاد، به عنوان کود آهن برسی شد. حدود ۶۴ درصد وزن این ماده را اکسیدهای دو و سه ظرفیتی آهن و بقیه را به طور عمده عناصری مانند کلسیم، سیلیسیم، منگنز، پتاسیم و فسفر تشکیل داده است. این پژوهش به صورت یک آزمایش انکوباسیون در سه خاک آهکی و با نمونه‌های ۴۰۰ گرمی در رطوبت ظرفیت مزروعه و دمای اتاق به مدت دو ماه انجام شد. تیمارها شامل سطوح مختلف لجن کنورتور (۰، ۴ و ۸ درصد)، لجن همراه با گوگرد عنصری و تیوباسیلوس و لجن اسیدی شده بودند. نمونه برداری از تیمارها در زمان‌های ۱، ۱۰، ۳۰ و ۶۰ روز پس از شروع آزمایش صورت گرفت.

نتایج آزمایش نشان داد که کاربرد لجن کنورتور باعث افزایش مختصری در H^+ خاک شد ولی در عین حال قابلیت جذب آهن خاک را افزایش داد. مقدار افزایش به طور عمده متناسب با مقدار لجن مصرفی بود. اسیدی کردن لجن کنورتور باعث افزایش چشمگیری در قابلیت جذب آهن خاک شد ولی مقدار قابل جذب این عنصر عموماً با گذشت زمان کاهش یافت. استفاده از لجن کنورتور همراه با گوگرد عنصری قابلیت جذب آهن و منگنز خاک‌ها را در مقایسه با تیمارهای لجن به تنها ۵٪ افزایش داد. همچنین استفاده از لجن کنورتور به تنها ۵٪ و همراه با گوگرد عنصری و اسید سولفوریک باعث افزایش مختصری در قابلیت جذب فسفر خاک‌ها شد. با توجه به نتایج این پژوهش می‌توان دریافت که لجن کنورتور فولادسازی پتانسیل کاربرد به عنوان کود آهن در خاک‌های آهکی را دارد است هرچند که انجام پژوهش‌های بیشتر گلخانه‌ای و مزرعه‌ای به منظور بررسی این موضوع مورد نیاز است.

واژه‌های کلیدی: کلروز آهن، لجن کنورتور فولاد، کود آهن

مقدمه

وجود دارد (۱). مؤثرترین روش برای مرتفع کردن کلروز آهن، استفاده از کلات‌های مصنوعی آهن است ولی به دلیل گرانی عموماً برای محصولات خاص استفاده می‌شود (۲).

بنابراین استفاده از ترکیبات جایگزین که بتواند به طور مؤثر کلروز آهن را معالجه نماید ضروری است. تاکنون بررسی‌های

عارضه کلروز آهن عمدها در خاک‌های آهکی و قلایی رایج است که بین ۲۵ تا ۴۵ درصد زمین‌های کشاورزی در سطح جهان آهکی هستند (۲ و ۴). در ایران نیز این عارضه در کلیه مناطق میوه خیز همچون: خراسان، اصفهان، کرج و آذربایجان

۱. به ترتیب دانشجوی دکتری، استاد و دانشیار خاک‌شناسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان

والاس و همکاران(۱۳) از مخلوط گوگرد و ضایعات اسیدی آهن حاصله از معادن مس که آیرون سل نامیده می‌شود به‌منظور تصحیح کلروز آهن ناشی از آهک استفاده کردند. نتایج به دست آمده نشان داد که مخلوط آیرون سل و گوگرد (۵۰۰ گرم خاک + ۰/۲۵ گرم آیرون سل + ۰/۷۵ گرم گوگرد) مؤثرترین تیمار بود. آنان بر این باور بودند که اسید موجود در آیرون سل نه تنها در قابل جذب کردن آهن مشارکت می‌کند بلکه توانایی باکتری‌های گوگردی خاک را برای اکسایش گوگرد بالا می‌برد.

هدف‌های این پژوهش عبارت‌انداز:

۱. بررسی تغییرات pH، آهن و سایر عناصر غذایی قابل جذب گیاه در خاک ناشی از افزودن مقادیر مختلفی از لجن کنورتور.
۲. به کار بردن مخلوطی از لجن کنورتور با گوگرد عنصری و اسیدسولفوریک و بررسی تغییرات pH، آهن و سایر عناصر غذایی قابل جذب گیاه در خاک. بدیهی است در صورت امکان استفاده از این ترکیب به عنوان کود آهن، علاوه بر کاهش مشکل تغذیه گیاه در خاک‌های آهکی، مشکلات انبار کردن این مواد و همچنین خطرات زیست محیطی حاصل از آن برطرف خواهد شد. علاوه بر آن فروش این ضایعات منبع درآمد اضافی برای کارخانه فولاد نیز خواهد بود.

مواد و روش‌ها

لجن کنورتور علاوه بر آهن، حاوی مقادیر قابل توجهی کلسیم، منیزیم، آلمینیوم، سیلیسیم، منگنز، روی، فسفر و عناصر دیگر می‌باشد(جدول ۱) که مقادیر آنها بسته به نوع سنگ آهن و روش تولید فولاد، متغیر است(۱۲).

این پژوهش بر روی سه خاک آهکی از مناطق اصغرآباد، گلشهر و مورچه خورت استان اصفهان انجام گرفت. نمونه‌های خاک پس از انتقال به آزمایشگاه و خشک شدن در مجاورت هوا از الک ۲ میلی‌متری گذرانده شدند و در هر خاک آهن، منگنز، (AB-DTPA) NH_4HCO_3 -DTPA، روی و مس قابل استخراج طبق روش پیشنهادی سلطان پور و شواب(۱۰) استخراج شد. تعدادی از خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک‌ها از قبیل pH گل اشباع، EC عصاره اشباع و بافت خاک

زیادی در زمینه استفاده از محصولات جنی صنایع به عنوان کود آهن در کشاورزی انجام گرفته است. از جمله این ضایعات می‌توان به لجن کنورتور صنایع فولاد اشاره کرد. لجن کنورتور در کارخانه‌های تولید فولاد در مرحله اکسایش چدن مذاب تشکیل می‌شود. در این مرحله هنگامی که اکسیژن به داخل کوره فولاد (کنورتور) تزریق می‌شود گرد و غباری از داخل کوره به بیرون انتشار می‌یابد. این ذرات به تأسیسات و دستگاه‌ها آسیب می‌رسانند، بنابراین توسط آب جمع‌آوری شده و پس از خشک کردن به صورت پودر در انبار نگهداری می‌شود. به ازای تولید هر تن فولاد، ۱۸ کیلوگرم لجن کنورتور به صورت پودر تولید می‌گردد (۱۲). تولید سالانه مقدار بسیار زیاد این ماده باعث بروز مشکلات انبارداری گشته و همچنین از لحاظ زیست محیطی ممکن است خطراتی را به همراه داشته باشد. ترکیب این ماده حاکی از وجود تعدادی از عناصر پر مصرف (کلسیم، منیزیم و فسفر) و کم مصرف (آهن و منگنز) در غلظت بالاست، پودری بودن آن (سطح ویژه زیاد) و وجود مقادیر نسبتاً زیاد آهن به خصوص آهن دو ظرفیتی امکان کاربرد آن را به عنوان کود آهن تقویت می‌کند.

استرولین و برگر(۱۱) از فروسل حاصل از صنایع فولاد به عنوان کود آهن و ماده اصلاحی استفاده نمودند. این ماده که مخلوطی از اسیدسولفوریک و سولفات‌های آهن است، توانست افزایش عملکرد یونجه و ذرت را به همراه داشته باشد. پارکپیان(۹) از لجن کنورتور به عنوان کود آهن استفاده نمود. این ترکیب که حاوی ۴۳ درصد آهن، ۵ درصد روی و ۲ درصد منگنز بود به دو صورت پودری و دانه‌ای همراه با اسیدسولفوریک (نسبت ۱:۲ اسید به لجن) یا بدون آن مورد استفاده قرار گرفت که بیشترین عملکرد سورگوم در تیمار لجن پودری اسیدی شده دیده شد. فروهر(۳) در بررسی خود، از پودر آهن ضایعاتی حاصل از صنایع فولاد استفاده نمود که ۹۶/۵ درصد ترکیب را اکسید آهن تشکیل می‌داد. استفاده از این ترکیب سبب کاهش معنی‌دار pH و افزایش معنی‌دار آهن قابل استخراج با EDTA در سه خاک مورد آزمایش شد.

گرم) در دمای معمولی اتاق و رطوبت ظرفیت مزرعه به مدت ۲ ماه نگهداری شدند. تیمارها به قرار زیر است:

۱. L_0 : شاهد.

۲. L_4 و L_8 : لجن کنورتور به میزان ۴ و ۸ درصد جرم خاک.

۳. L_4pH_2 و L_4pH_4 : لجن اسیدی شده تاپ هاش ۲/۵ و ۴/۷ به میزان ۴ درصد جرم خاک.

۴. S_1 : گوگرد عنصری به میزان ۱ درصد جرم خاک.

۵. L_4S_1T و L_4S_1 : ۴ درصد لجن کنورتور + ۱ درصد گوگرد عنصری و همراه با مایه تلقيق تیو باسیلوس.

برای اسیدی کردن لجن کنورتور از اسید سولفوریک غلیظ و برای تیمارهای گوگرد عنصری از پودر میکرونیزه گوگرد استفاده گردید. مایه تلقيق تیو باسیلوس از مؤسسه تحقیقات خاک و آب کشور تهیه شد. نمونه برداری از تیمارهای مورد آزمایش در زمانهای ۱، ۱۰، ۳۰ و ۶۰ روز پس از شروع انکوباسیون انجام گرفت. در این نمونه‌ها pH و EC در تعیق ۱:۲/۵ خاک به آب تعیین شد. همچنین عناصر Zn، Mn، Fe، Cu، P و K به وسیله عصاره‌گیر AB-DTPA از خاک استخراج شد. آهن، روی، مس و منگنز عصاره‌گیری شده به وسیله دستگاه جذب اتمی پرکین الم- مدل ۳۰۳۰، فسفر به روش اسپکتروفوتومتری و پتاسیم با روش فلیم فتو متري اندازگیری شد. اندازه گیری pH با استفاده از الکترود شیشه‌ای متصل به pH متر مدل ۶۲۰ و EC با دستگاه هدایت سنج متر اهم انجام شد.

نتایج و بحث

تغییرات آهن قابل استخراج خاک

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها (جدول ۳) اثر متقابل تیمار در زمان نگهداری را برای آهن قابل استخراج با AB-DTPA در هر سه خاک آهکی در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار نشان می‌دهد. در تیمارهای لجن کنورتور (L_4 و L_8) متناسب با مقدار لجن، آهن قابل استخراج با AB-DTPA در خاک‌های مورد آزمایش افزایش یافته است (جدول ۵). استفاده از مقادیر زیاد لجن کنورتور (L_8) باعث کاهش قابلیت استخراج آهن در

جدول ۱. نتایج تجزیه شیمیایی لجن کنورتور

ترکیب	مقدار	ترکیب	مقدار
-----%----		-----%----	
MnO	۴۴/۳۰	Fe ₂ O ₃	۴/۰۲
ZnO	۱۹/۲۲	FeO	۰/۰۳
V ₂ O ₅	۶/۱۲	CaO	۰/۰۷
S	۱/۳۰	SiO ₂	۰/۱۳
Na ₂ O	۰/۲۴	MgO	۱/۰۲
K ₂ O	۰/۱۰	Al ₂ O ₃	۰/۲۰
L.O.I*	۰/۲۷	P ₂ O ₅	۰/۳۰

Loss on ignition :*

جدول ۲. برخی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک‌های

مورد مطالعه

نمونه برداری	منطقه	اصغر آباد	گلشهر	مورچه خورت
بافت خاک	شن لومی	شن روسی	شن لومی	
pH	۷/۶	۸/۰	۷/۵	
(dS/m)	۱۰/۰	۲/۰	۷/۵	EC
مواد آلی (%)	۰/۴۶	۰/۷۰	۰/۸۷	
ازت کل (%)	۰/۰۲	۰/۰۶	۰/۰۷	
آهک (%)	۴۰	۴۰	۴۳	
فسفر (mg/kg)	۱۵/۷	۱۷/۷	۱۵/۰	
پتاسیم (mg/kg)	۲۰/۷/۲	۱۲۵/۸	۱۴۷/۸	
آهن (mg/kg)	۶/۳	۱۳/۷	۱۵/۷	
منگنز (mg/kg)	۸۴/۹	۲۲/۹	۲۲/۲	
روی (mg/kg)	۱/۰	۱/۴	۱/۴	

و همچنین ماده آلی، ازت خاک، آهک و عناصر عصاره‌گیری شده توسط AB-DTPA در جدول ۲ نشان داده شده است. اثر لجن کنورتور بر خصوصیات خاک در یک آزمایش انکوباسیون و در سه تکرار به صورت طرح پایه کاملاً تصادفی در قالب فاکتوریل اجرا شد. در این آزمایش، نمونه‌های خاک (حدود ۴۰۰

جدول ۳. تجزیه واریانس مربوط به pH و مقدار قابل عصاره گیری آهن و منگنز خاکها

		میانگین مربuat				منابع تغییر درجه آزادی	
		خاک مورچه خورت		خاک گلشهر		خاک اصفر آباد	
pH	منگنز	آهن	pH	منگنز	آهن	pH	منگنز
۰/۱۷**	۹۶۵***	۱۹۴۳۳/۰***	۰/۵۵**	۳۹/۱/۴***	۱۵۹/۰/۲/۴***	۶۹۹۴۴/۳/۳***	۳۱۷۸۸/۸/۸***
۰/۰۵**	۱۴۹۳/۶***	۲۷۷۲۷/۶***	۰/۱۴***	۷۵۰۹/۶***	۴۸۵/۰/۵***	۱۹۰۲۰/۷***	۱۲۱۴/۸***
۰/۰۲**	۳۶۶/۱**	۶۸۳/۵***	۰/۰۴***	۰/۱۵***	۱۵/۰/۵***	۰/۰/۰/۲***	۴۵۴/۰/۰***
۰/۰۰۰۳	۳/۱	۱۰/۳	۰/۰۰۰۳	۱/۸	۲۰/۴	۰/۰/۱	۳۸۹/۸

*: در سطح احتمال ۱٪ معنی دار است.
ns: در سطح احتمال ۵٪ معنی دار نیست.

جدول ۴. تجزیه واریانس مربوط به EC و مقدار قابل عصاره گیری فسفر، پتاسیم و روی خاکها

		میانگین مربuat				منابع تغییر درجه آزادی	
		خاک مورچه خورت		خاک گلشهر		خاک اصفر آباد	
EC	پتاسیم	فسفور	روی	EC	پتاسیم	فسفور	روی
۱۲/۶**ns	۱/۳/۱**	۱۱۹۳/۸/۸**ns	۲۲/۵***	۷/۷/۲**	۱/۱۳***	۱۰/۸/۸***	۳/۷/۲***
۱/۰/۷/۷ns	۰/۰/۴ns	۴۲۹/۰/۰ns	۲۲/۳/۳***	۲/۷/۳***	۴/۸/۱***	۳۷/۹/۹ns	۰/۷/۴***
۷/۱/۸ns	۰/۰/۵ns	۹۸/۳/۳ns	۲/۷/۲***	۰/۷/۳***	۰/۰/۰/۳***	۹۸/۸/۵*	۰/۱/۵ns
۷/۹	۰/۰/۰	۱۰/۸/۳	۱/۰	۰/۰/۱	۰/۱/۰	۵۱/۸	۰/۰/۰

*: در سطح احتمال ۱٪ معنی دار است.
ns: در سطح احتمال ۵٪ معنی دار نیست.

کاربرد لجن کثورتور اسیدی شده (ضایعات کارخانه فولاد) به عنوان کود...

جدول ۵. اثر نیمار و زمان تکراری بر مقدار آهن (mg/kg) قابل عصاره‌گیری با AB-DTPA

		نیمار				زمان انکوپاسیون		خاک	زمان انکوپاسیون
	L ₄ S ₁ T	L ₄ S ₁	S ₁	L ₄ pH ₄	L ₄ pH ₂	L ₈	L ₄	L ₀	
۵۹/۹	۴۹/۱	۷۸/۵	۱۷/۸	۱۸۱/۸	۶۵/۱	۶۵/۲	۲۵/۴		۱
۵۱/۰	۴۲/۰	۲۵/۳	۱۳۷/۰	۱۵۸/۰	۶۵/۱	۶۱/۱	۲۰/۳		۱۰
۴۴/۳	۳۹/۴	۱۳۲/۶	۱۳۸/۸	۱۵۶/۳	۵۷/۹	۴۵/۱	۱۹/۴		۳۰
۳۶/۳	۳۷/۷	۲۶/۴	۹۹/۸	۱۴۷/۴	۴۸/۵	۵۱/۷	۱۹/۷		۶۰
۵۰/۰ ^d	۴۲/۱ ^c	۲۵/۹ ^f	۱۳۷/۱ ^b	۱۶۰/۸ ^a	۵۴/۱ ^c	۵۵/۸ ^{cd}	۲۱/۲ ^f	میانگین	
۳۴/۷	۳۷/۱	۱۵/۱	۹۶/۰	۱۳۴/۹	۵۴/۳	۳۸/۳	۱۳/۸		۱
۵۳/۱	۳۶/۴	۲۶/۰	۹۲/۴	۱۱۹/۱	۵۲/۷	۵۴/۹	۱۵/۲		۱۰
۵۲/۰	۲۳/۰	۱۷/۷	۸۴/۵	۱۲۲/۷	۴۹/۸	۴۹/۸	۱۲/۴	گل شهر	۳۰
۳۲/۳	۳۵/۷	۱۵/۳	۸۲/۵	۱۰۴/۷	۳۸/۰	۳۱/۶	۱۲/۸		۶۰
۴۱/۰ ^d	۳۳/۲ ^e	۱۸/۵ ^f	۸۶/۴ ^b	۱۲۰/۶ ^a	۴۸/۵ ^c	۳۸/۸ ^{cd}	۱۲/۵ ^f	میانگین	
۴۰/۲	۴۰/۲	۸/۹	۱۴۳/۷	۱۵۹/۰	۶۵/۱	۴۲/۹	۹/۸		۱
۳۲/۰	۳۴/۵	۹/۱	۹۲/۷	۱۳۲/۷	۹۳/۷	۳۸/۶	۹/۷		۱۰
۳۸/۱	۳۴/۱	۷/۳	۶۸/۹	۸۶/۳	۵۸/۷	۳۵/۱	۵/۴	مورچه خورت	۳۰
۳۳/۹	۳۷/۴	۹/۳	۹۰/۲	۹۴/۰	۵۹/۴	۲۴/۹	۴/۶		۶۰
۳۸/۴ ^d	۳۶/۱ ^d	۷/۱ ^f	۱۰۲/۸ ^b	۱۱۴/۴ ^a	۶۱/۷ ^c	۳۵/۴ ^{cd}	۵/۹ ^e	میانگین	

در هر سطون اعداد دارای حداقل یک حرف مشترک در سطح احتمال ۵٪ غایقی با پکیدنگر ندارند.

تغییرات منگنز قابل استخراج خاک

اثر متقابل تیمار در زمان نگهداری برای منگنز قابل استخراج با AB-DTPA در هر سه خاک در سطح احتمال ۱ درصد معنی دار شده است (جدول ۳). تیمارهای حاوی اسیدسولفوریک بهترین نتیجه را در افزایش منگنز قابل استخراج در همه خاک‌ها داشته است (جدول ۶)، ولی در این تیمارها با گذشت ۲ ماه از شروع آزمایش، کاهش معنی‌داری در منگنز قابل استخراج نسبت به زمان شروع آزمایش ایجاد شده است. کاهش عمدۀ در ۱۰ روز اول اتفاق افتاده، هر چندکه ممکن است این کاهش در زمان کمتر از ۱۰ روز به‌وقوع پیوسته باشد. به نظر می‌رسد روند نزولی منگنز قابل استخراج در طول زمان نگهداری به دلیل تغییرات pH و رسوب یا اکسایش منگنز II و III به IV می‌شود که منگنز IV می‌تواند به صورت کانی‌های کم محلول در محیط خاک رسوب کند. تیمارهای حاوی گوگرد عنصری (L_4S_1) و (L_4S_1T) نیز افزایش معنی‌داری در منگنز قابل استخراج نشان می‌دهند. در طول نخستین ماه آزمایش، افزایش معنی‌داری در مقدار منگنز قابل استخراج از خاک در تیمارهای حاوی گوگرد عنصری دیده می‌شود، ولی احتمال می‌رود بخش اعظم اکسایش گوگرد در ماه اول اتفاق افتاده باشد. در ماه دوم میزان قابلیت استخراج منگنز کاهش یافته است. افزودن لجن کنورتور (L₄ و L₈) باعث افزایش جزئی در قابلیت استخراج منگنز شده است. علت افزایش را می‌توان به منگنز موجود در ترکیب لجن (به میزان ۱/۰۲ درصد) نسبت داد.

تغییرات pH و EC خاک

کاربرد لجن اسیدی کاهش معنی‌داری در pH خاک نسبت به شاهد به وجود آورده ولی این کاهش در طول زمان نگهداری تا حدودی خشی شده است (جدول ۷). تأثیر کوتاه مدت تیمارهای اسیدی احتمالاً به دلیل اسید موجود در لجن این تیمارها و افزایش pH در مراحل بعدی به دلیل خشی شدن این اسید به وسیله آهک خاک است. تیمارهای حاوی گوگرد عنصری کاهش معنی‌داری را در pH خاک باعث شده‌اند ولی

طول زمان نگهداری شده است. به نظر می‌رسد که دلیل آن، افزایش pH و رسوب ترکیبات نامحلول تر آهن در خاک باشد (۷). اسیدی کردن لجن کنورتور (L_4pH_2) آهن قابل استخراج با AB-DTPA را در مقایسه با شاهد به‌طور قابل ملاحظه‌ای افزایش داده است. هر چند که در طول زمان نگهداری از قابلیت استخراج آهن کاسته شده ولی با این وجود مقدار آن پس از گذشت ۶۰ روز از شروع آزمایش، چندین برابر شاهد می‌باشد، این در حالی است که pH در این تیمارها نسبت به شاهد کاهش چشم‌گیری نداشته است. به عنوان مثال در خاک مورچه خورت pH در تیمار L_4pH_2 نسبت به شاهد پس از پایان دوره انکوباسیون کاهش نیافته، این در حالی است که آهن قابل استخراج در تیمار مذکور حدود ۱۷ برابر شاهد افزایش یافته است که نشان دهنده افزایش شدید آهن قابل استخراج در اثر افزودن لجن اسیدی شده به خاک بدون کاهش pH است. پارکپیان (۹) لجن کنورتور را با اسیدسولفوریک محلوط نمود (نسبت ۱:۲ گرد و غبار به اسید)، بدین طریق میزان آهن قابل استخراج آن از ۴ به ۴۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک افزایش یافت ولی پس از گذشت ۶۰ روز مقدار آن به ۶ میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک تنزل یافت. فروهر (۳) گزارش کرد مقدار آهن قابل استخراج با EDTA در خاک‌هایی که با پودر اکسید آهن ضایعاتی تیمار شده بودند کاهش معنی‌داری در طول ۶۰ روز آزمایش انکوباسیون داشته است، ضمن این‌که pH ماده مورد استفاده در این پژوهش حدود ۲ گزارش شده بود.

تیمار ۱ درصد گوگرد عنصری (S_1) تفاوت معنی‌داری در قابلیت استخراج آهن نسبت به شاهد نداشته در حالی که در تیمارهای لجن کنورتور به همراه گوگرد عنصری (L_4S_1) و تیوباسیلوس (L_4S_1T) افزایش معنی‌داری در قابلیت استخراج آهن نسبت به شاهد دیده شده ولی نسبت به L_4 افزایشی را نشان نمی‌دهد. در طول زمان نگهداری مقدار آهن قابل استخراج با AB-DTPA در تیمارهای لجن کنورتور به همراه گوگرد عنصری همانند تیمارهای اسیدسولفوریک کاهش داشته است.

کاربرد لجن کنورتور اسیدی شده(ضایعات کارخانه فولاد) به عنوان کود...

جدول ۶. اثر تیمار و زمان نگهداری بر مقدار میکتنز (mg/kg) قابل عصاره گیری با AB-DTPA

تیمار	زمان						خاک انکوپاریسون	
	L ₄ S ₁	L ₄ T	S ₁	L ₄ pH ₄	L ₄ pH ₂	L ₈	L ₄	
۲۱/۶	۴۹/V	۵۱/V	۵۱/۹	۵۹/۳	۷۷/۹	۴۶/۴	۲۴/۴	۲۶/۶
۲۸/۶	۷۰/V	۸۰/I	۸۰/I	۲۱/V	۲۲/۹	۳۱/۳	۲۵/۲	۱۵/۹
۹۴/۶	۹۶/V	۹۷/۴	۹۷/۴	۱۹/۳	۱۹/۶	۱۹/۴	۲۱/۳	۱۶/۹
۷۰/۶	۴۱/I	۷۳/V	۷۳/V	۱۰/۴	۱۲/V	۱۲/۶	۱۵/۴	۱۰/۴
۷۴/۲ ^a	۶۵/V ^b	۷۶/V ^a	۷۶/V ^a	۷۷/V ^d	۷۷/V ^c	۲۷/V ^d	۲۱/V ^c	۱۷/۵
۲۸/۲	۲۹/V	۲۷/V	۲۷/V	۱۹/۹	۲۶/V	۱۴/۸	۱۲/۲	۱۰/۱
۳۲/۲	۲۱/I ^c	۲۷/I ^c	۲۷/I ^c	۱۰/۵	۱۲/۵	۱۰/۹	۲۲/۳	۱۰/۰
۲۷/۲	۱۳/V	۱۹/V	۱۹/V	۹/۱	۱۰/۱	۹/۶	۸/۰	۸/۸
۱۰/۶	۱۴/I	۹/I	۹/I	۸/I	۹/۴	۹/۴	۷/۰	۴/۸
۲۴/۶ ^a	۱۹/V ^b	۲۱/I ^b	۱۱/۹ ^c	۱۱/۹ ^c	۱۳/V ^c	۱۰/V ^d	۱۲/V ^c	۸/V ^d
۲۷/۶	۲۰/I ^c	۱۷/V	۱۷/V	۲۵/V	۲۵/V	۲۰/۹	۱۲/۲	۷/V
۳۸/۱	۴۰/I	۳۹/V	۱۱/V	۱۲/V	۱۲/V	۱۲/۰	۹/۸	۶/۱
۱۷/۶	۴۰/I	۱۶/I ^c	۹/I ^c	۹/I ^c	۹/I ^c	۸/۶	۷/۲	۵/۴
۱۵/۰	۹/V	۱۱/I	۸/I	۹/V	۹/V	۷/۴	۳/۴	۲/۳
۲۷/۲ ^a	۲۸/V ^a	۲۲/V ^b	۱۸/V ^c	۲۱/V ^b	۱۰/V ^d	۷/V ^c	۵/V ^d	۳/V ^c

در هر سطون اعداد دارای حداقل یک حرف مشترک در سطح احتمال ۵٪ تفاوتی با یکدیگر ندارند.

اصغر آباد

کشک

مورجه خورت

میانگین

جدول آ. اثر تیمار و زمان نگهداری بر pH خاکها

		تیمار						زمان	
L ₄ S ₁ T	L ₄ S ₁	S ₁	L ₄ pH ₄	L ₄ pH ₂	L ₈	L ₄	L ₀	انکوپلیسیون	خاک
V/۵۶	V/۱۸	V/۲۸	V/۹۰	V/۰۰	V/V۰	V/V۰	V/V۰	V/V۰	۱
V/۶۱	V/۶۱	V/۰۰	V/۹۷	V/V۲	V/۹۳	V/۹۴	V/V۲	V/V۲	۱۰
V/۶۲	V/۶۲	V/۵۳	V/V۲	V/V۰	V/۰۳	V/V۴	V/V۴	V/V۴	۲۰
V/۶۳	V/۶۳	V/۰۰	V/V۶	V/V۷	V/۹۷	V/V۳	V/V۳	V/V۳	۳۰
V/۶۱ ^d	V/۶۱ ^d	V/۰۰ ^d	V/V۹ ^c	V/V۵ ^d	V/V۸ ^a	V/V۹ ^b	V/V۷ ^b	V/V۷ ^b	میانگین
V/۱۸	V/۱۸	V/۱۸	V/۹۰	V/V۸	V/V۰	V/V۰	V/V۰	V/V۰	۱
V/V۱	V/V۱	V/V۰	V/V۰	V/V۷	V/V۰	V/V۰	V/V۱	V/V۱	۱۰
V/۵۷	V/۵۷	V/۰	V/۹۰	V/V۲	V/V۰	V/V۰	V/V۰	V/V۰	۲۰
V/V۲	V/V۲	V/V۰	V/V۰	V/V۰	V/V۰	V/V۰	V/V۰	V/V۰	۳۰
V/V۳ ^b	V/V۳ ^b	V/V۹ ^b	V/V۹ ^b	V/V۰ ^c	V/V۰ ^a	V/V۰ ^a	V/V۰ ^a	V/V۰ ^a	میانگین
V/V۲	V/V۲	V/V۰	V/V۰	V/V۳	V/V۸	V/V۳	V/V۰	V/V۰	۱
V/V۰	V/V۰	V/V۳	V/V۳	V/V۸	V/V۰	V/V۸	V/V۰	V/V۰	۱۰
V/V۰	V/V۰	V/V۵	V/V۲	V/V۲	V/V۰	V/V۰	V/V۰	V/V۰	۲۰
V/V۰	V/V۰	V/V۲	V/V۸	V/V۰	V/V۸	V/V۸	V/V۰	V/V۰	۳۰
V/V۰ ^d	V/V۰ ^d	V/V۸	V/V۰ ^c	V/V۰ ^a	V/V۲ ^a	V/V۰ ^b	V/V۹ ^c	V/V۹ ^c	میانگین

در هر ستون اعداد دارای حداقل پک حرف مشترک در سطح احتمال ۰.۰۵ تا ۰.۰۱ با پیکارگر ندارند.

جدول ۸ مقایسه اثر تیمارها بر مقدار فسفر، پتاسیم و روی (mg/kg) قابل عصاره گیری با dS/m) EC و AB-DTPA خاک‌ها (آزمون دانکن)

تیمار	خاک آسغز آباد			خاک گلشنگر			خاک مرجه خمررت			خاک مورجه خمررت		
	EC	روی	پتاسیم	فسفر	EC	روی	پتاسیم	فسفر	EC	روی	پتاسیم	فسفر
L ₀	۱/۲ ^b	۱/۴ ^b	۲۷۱/۹ ^a	۲۰/۱ ^a	۰/۹ ^d	۱/۶ ^b	۱۳۹/۰ ^a	۱۳/۰ ^c	۲/۱ ^c	۲/۴ ^b	۱۴۰/۴ ^a	۱۱/۱ ^b
L ₄	۱/۲ ^b	۱/۴ ^b	۲۵۰/۲ ^a	۲۱/۷ ^a	۰/۸ ^d	۱/۸ ^b	۱۴۷/۹ ^a	۱۴/۲ ^b	۲/۱ ^c	۲/۳ ^b	۱۴۰/۵ ^a	۱۲/۳ ^{ab}
L ₈	۱/۰ ^b	۱/۰ ^b	۲۵۲/۰ ^a	۲۱/۹ ^a	۰/۸ ^d	۱/۸ ^b	۱۳۸/۴ ^a	۱۵/۱ ^{ab}	۲/۹ ^c	۲/۴ ^b	۱۳۲/۸ ^a	۱۲/۵ ^{ab}
L _{4PH₂}	۱/۰ ^a	۱/۰ ^a	۲۵۸/۱ ^a	۲۱/۹ ^a	۰/۹ ^a	۲/۴ ^a	۱۴۵/۸ ^a	۱۶/۰ ^a	۲/۹ ^b	۲/۹ ^a	۱۴۲/۲ ^a	۱۲/۸ ^{ab}
L _{4PH₄}	۱/۰ ^a	۱/۰ ^a	۲۹۲/۲ ^a	۲۰/۰ ^a	۰/۹ ^b	۱/۹ ^b	۱۴۶/۷ ^a	۱۵/۰ ^{ab}	۲/۹ ^b	۲/۸ ^a	۱۴۳/۵ ^a	۱۲/۷ ^{ab}
S ₁	۱/۰ ^a	۱/۰ ^a	۲۶۷/۱ ^a	۱۸۰/۳ ^b	۱/۰ ^b	۱/۰ ^b	۱۴۱/۶ ^a	۱۵/۲ ^{ab}	۴/۲ ^a	۲/۶ ^a	۱۴۷/۲ ^a	۱۱/۷ ^b
L _{4S₁}	۱/۰ ^{ab}	۱/۰ ^{ab}	۲۳۰/۹ ^a	۱۹/۰ ^a	۰/۹ ^b	۰/۹ ^b	۱۴۲/۸ ^a	۱۵/۴ ^{ab}	۲/۹ ^b	۲/۰ ^b	۱۴۵/۰ ^a	۱۲/۶ ^{ab}
L _{4S₁T}	۱/۰ ^b	۱/۰ ^b	۲۶۵/۲ ^a	۱۸/۰ ^b	۰/۷ ^c	۰/۷ ^c	۱۴۱/۲ ^a	۱۵/۴ ^{ab}	۴/۰ ^{ab}	۲/۷ ^a	۱۴۷/۱ ^a	۱۲/۰ ^a

در هر ستون اعداد دارای حداقل یک حرف مشترک در سطح احتمال ۵٪ تفاوتی با پیکربند ندارند.

حالیت روی همانند منگنز و آهن شدیداً به pH وابسته است و با کاهش pH، حالیت کانی‌های حاوی روی افزایش می‌یابد (۷).

نتیجه‌گیری

کاربرد لجن کنورتور باعث افزایش مقدار آهن قابل جذب خاک‌ها شد و مقدار افزایش عموماً متناسب با مقدار لجن مصرفی بود. استفاده از لجن کنورتور همراه با گوگرد عنصری و اسید سولفوریک قابلیت جذب آهن و منگنز را در خاک‌ها در مقایسه با تیمارهای لجن به تنها‌ی افزایش داد که اسیدسولفوریک از این نظر مؤثرتر از گوگرد عنصری بود. استفاده از لجن کنورتور به تنها‌ی و یا همراه با گوگرد عنصری و اسیدسولفوریک افزایش مختصراً را در قابلیت جذب فسفر خاک‌ها باعث شد. کاربرد مقادیر زیاد لجن کنورتور باعث افزایش جزئی در pH خاک‌ها شدند در حالی‌که اسیدسولفوریک و گوگرد عنصری pH خاک‌ها را به همراه داشتند. با گذشت زمان در آزمایش انکوباسیون، یک روند نزولی در مقدار آهن و منگنز قابل استخراج خاک‌ها در همه تیمارها دیده شد. شدت کاهش در تیمارهای حاوی گوگرد عنصری کنترل بود. کاربرد لجن کنورتور همراه با گوگرد عنصری و اسیدسولفوریک، هدایت الکتریکی خاک‌ها را افزایش داد ولی تأثیر اسیدسولفوریک در این ارتباط مشهودتر بود. به منظور تأیید و کاربردی شدن نتایج این پژوهش، انجام بررسی‌های گلخانه‌ای و مزرعه‌ای با استفاده از گیاهان حساس به استرس آهن و کاربرد لجن کنورتور به عنوان کود آهن پیشنهاد می‌شود.

بر خلاف تیمارهای اسید سولفوریک در طول زمان نگهداری افزایش معنی‌داری در pH خاک دیده نشده که نشان‌دهنده اثر دراز مدت‌تر گوگرد بر کاهش pH خاک است. کاهش pH خاک‌های آهکی در اثر افزودن گوگرد عنصری توسط محققان زیادی تأیید شده است (۵ و ۶). تیمارهای L₄S₁T آثار مشابهی بر کاهش pH خاک داشته‌اند احتمالاً گونه‌های تیوباسیلوس استفاده شده در شرایط این خاک فعال نبوده‌اند. مقادیر زیاد لجن کنورتور به تنها‌ی باعث افزایش جزئی در pH خاک شده که به دلیل بالا بودن pH لجن (pH تعلیق ۲/۵: ۱ لجن به آب برابر ۱۱/۲) می‌باشد.

در خاک‌های مورد آزمایش تنها تیمارهای حاوی اسیدسولفوریک و گوگرد عنصری باعث افزایش معنی‌دار هدایت الکتریکی نسبت به شاهد گردیده‌اند (جدول ۸). به‌طور کلی در تیمارهایی که باعث آزاد شدن H⁺ شده (اسید سولفوریک و گوگرد عنصری) حلالیت املاح و نمک‌های موجود در خاک و لجن افزایش یافته و بدین طریق هدایت الکتریکی خاک افزایش می‌یابد.

تغییرات فسفر، پتاسیم و روی قابل استخراج نتایج تجزیه واریانس داده‌ها (جدول ۴)، اثر تیمارها بر فسفر و روی قابل استخراج با AB-DTPA را در هر سه خاک مورد آزمایش در سطح احتمال ۱٪ معنی‌دار نشان داده در حالی‌که پتاسیم قابل استخراج حتی در سطح ۰/۵٪ معنی‌دار نشده است. کاربرد لجن کنورتور به تنها‌ی با وجود افزایش جزئی در pH خاک موجب افزایش مختصراً در قابلیت استخراج فسفر نسبت به شاهد شده است (جدول ۸). در خاک‌های مورد آزمایش، کاربرد تیمارها تأثیر معنی‌داری در پتاسیم قابل استخراج با AB-DTPA نداشته‌اند (جدول ۸). روی قابل استخراج با AB-DTPA تنها در تیمارهای اسیدسولفوریک افزایش معنی‌داری نسبت به شاهد داشته است (جدول ۸).

منابع مورد استفاده

۱. سالاردینی، ع. ا. ۱۳۷۱. حاصلخیزی خاک. چاپ چهارم، انتشارات دانشگاه تهران.
۲. سالاردینی، ع. ا. و م. مجتهدی، ۱۳۶۷. /صور تغذیه گیاه. چاپ اول، مرکز نشر دانشگاهی، تهران.
۳. فروهر، م. ۱۳۷۱. بررسی امکان استفاده از پودر اکسید آهن ضایعاتی حاصل از فرایند اسیدشویی فولاد به عنوان کود آهن، دانشکده کشاورزی، پایان نامه کارشناسی ارشد خاک شناسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان.
۴. کلباسی، م. ۱۳۷۴. کلروز آهن در گیاهان و راههای مبارزه با آن. نشریه شماره ۱۸، سازمان پارک‌ها و فضای سبز اصفهان.
5. Kalbasi, M., F. Filsoof and Y. Rezai-Nejad. 1988. Effect of sulfur treatment on yield and uptake of Fe, Zn and Mn by corn, sorghum and soybean. *J. Plant Nutr.* 11: 1353-1360.
6. Kaplan, M. and S. Orman. 1998. Effect of elemental sulfur and sulfur containing waste in a calcareous soil in Turkey. *J. Plant Nutr.* 21(8): 1655-1665.
7. Lindsay, W. L. 1992. Chemical Equilibria in Soils. John Wiley & Sons, Inc. New York.
8. Mortvedt, J.J. 1988. Iron source and management practices for correcting iron chlorosis problem. *J. Plant Nutr.* 9: 94-97.
9. Parkpian, P. 1983. The Potential of Iron Waste By-Product as an Iron Fertilizer in Alkaline Soil. Texas A & M University.
10. Soltanpour, P.N. and A.P. Schwab. 1977. A new soil test for simultaneous extraction macro and micro-nutrients in alkaline soils. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 8(3): 195-207.
11. Stroehlin, J.L. and C. Berger. 1963. The use of ferrosul, a steel industry by-product, as a soil amendment. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 27: 51-53.
12. United Nations. 1990. The recuperation and economic utilization of by-product of the iron and steel industry. Economic Commission for Europe. Geneva.
13. Wallace, A., Y.S. Samman and C.A. Wallace. 1982. Correction of lime-induced chlorosis in soybean in a calcareous soil with sulfur and an acidifying iron compound. *J. Plant Nutr.* 5(4-5): 949-953.